



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1 PENGANTAR.....	1
1.1 Sejarah Biomassa	1
1.2 Sumber, Komposisi, dan Produk Biomassa	2
1.3 Karakteristik Biomassa: Sifat Fisis dan Termodinamis	6
1.4 Keuntungan Penggunaan Biomassa	11
Referensi.....	13
BAB 2 KONVERSI BIOMASSA	15
2.1 Konversi Biokimia	16
2.2 Konversi Termokimia.....	20
Referensi.....	25
3.1 Pendahuluan	27
BAB 3 <i>SUPPLY CHAIN MANAGEMENT</i> BIOMASSA.....	27
3.2 Klasifikasi Keputusan.....	35
3.3 Klasifikasi Bahan Baku dan Produk.....	36
3.4 Optimasi <i>Supply Chain</i>	40
Referensi.....	43
BAB 5 TOREFAKSI	45
4.1 Pengantar.....	45

4.2	Perbedaan Proses Torefaksi, Pirolisis, dan Gasifikasi..	47
4.3	Proses Torefaksi	50
4.4	Sifat Fisis Biomassa Tertorefaksi.....	56
4.5	Teknologi Torefaksi.....	61
4.6	Perancangan Torefaksi	68
	Referensi.....	77
BAB 4	PIROLISIS	79
5.1	Pengantar.....	79
5.2	Tipe dan Produk Pirolisis	80
5.3	Kinetika Pirolisis.....	85
5.4	Macam Teknologi Pirolisis.....	99
5.5	Perancangan Pirolisis	108
	Referensi.....	113
BAB 6	PRODUKSI DAN DESTRUKSI TAR.....	115
6.1	Pengantar.....	115
6.2	Pembentukan Tar.....	116
6.3	Reduksi Tar	120
	Referensi.....	127
BAB 7	GASIFIKASI.....	129
7.1	Pengantar.....	129
7.2	Proses Gasifikasi	130
7.3	Kinetika Gasifikasi.....	134
7.4	Macam Teknologi Gasifikasi.....	143
7.5	Perancangan Gasifikasi	154
	Referensi.....	166
BAB 8	PRODUKSI ENERGI (<i>SYNTHETIC FUEL</i>) DAN BAHAN KIMIA (<i>CHEMICALS</i>).....	167
8.1	Pengantar.....	167
8.2	<i>Syngas</i>	169
8.3	Bio-oil	173
8.4	Konversi <i>Syngas</i> menjadi Bahan Kimia	177
8.5	Energi Transportasi	181
	Referensi.....	187
BAB 9	TEKNIK ANALISIS	189
9.1	Komposisi Biomassa.....	189

9.2	<i>Heating Value</i>	198
9.3	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>	202
9.4	Alat Analisis	203
9.5	<i>Gas Chromatography dan Mass Spectrometry</i>	204
	Referensi.....	205
BAB 10 LIFE CYCLE ENERGY DAN CARBON FOOTPRINT		
	ASSESSMENT KONVERSI BIOMASSA	207
10.1	Pendahuluan	207
10.2	Metode <i>Life Cycle Assessment</i>	208
10.3	<i>Life Cycle Analysis Biomassa</i>	210
10.4	<i>Carbon Footprint Assessment Konversi Biomassa</i>	216
	Referensi.....	221
BAB 11 ISU EKONOMI KONVERSI BIOMASSA		
11.1	<i>Availability Assessment dan Product Revenue</i> Konversi Biomassa	225
11.2	Peralatan Konversi Biomassa dan Biaya yang Diperlukan.....	234
11.3	Analisis Finansial	248
	Referensi.....	255
BAB 12 ISU EKOLOGI BIOMASSA		
12.1	Definisi <i>Sustainability</i>	257
12.2	<i>Sustainability</i> Pemanfaatan Biomassa.....	258
12.3	Isu Ekologi Konversi Biomassa menjadi Bioenergi	258
	Referensi.....	265
BAB 13 KEBIJAKAN ENERGI BIOMASSA DI INDONESIA		
13.1	Persoalan dalam Penyediaan Energi di Indonesia.....	267
13.2	Kebijakan yang Mendorong Percepatan Penyediaan dan Pemanfaatan Biomassa.....	271
13.3	Kebijakan Beberapa Pembatasan dalam Pemanfaatan Biomassa	280
	Referensi.....	285
GLOSARIUM		287
TENTANG PENULIS		293



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Komposisi Biomassa Limbah.....	4
Tabel 1.2	Kandungan <i>Moisture Content</i> Beberapa Jenis Biomassa....	7
Tabel 1.3	Nilai LHV Beberapa Jenis Biomassa.....	8
Tabel 1.4	Nilai HHV Beberapa Jenis Biomassa.....	8
Tabel 1.5	Proporsi <i>Fixed Carbon</i> dan Zat Volatil Beberapa Jenis Biomassa	9
Tabel 1.6	Kandungan Abu dan Logam Beberapa Jenis Biomassa	10
Tabel 1.7	Kandungan Selulosa dan Lignin Beberapa Jenis Biomassa	10
Tabel 1.8	<i>Bulk Volume</i> dan <i>Density</i> Beberapa Jenis Biomassa	11
Tabel 2.1	Perbandingan Metode Konversi Termokimia.....	20
Tabel 3.1	Contoh Parameter-Parameter dalam <i>Supply Chain</i>	30
Tabel 3.2	Kategori Bahan Baku Sumber Biomassa	37
Tabel 3.3	Produk Biomassa Padat.....	38
Tabel 3.3	Produk Biomassa Padat (lanjutan)	39
Tabel 3.4	Optimasi pada Kategori <i>District Heating Plants</i>	41
Tabel 3.5	Optimasi pada Kategori <i>Power Plants</i>	42
Tabel 3.6	Optimasi pada Kategori <i>CHP Plants</i>	42
Tabel 3.6	Optimasi pada Kategori <i>CHP Plants</i> (lanjutan).....	43
Tabel 4.1	Proses Pemanasan Biomassa pada Kondisi Atmosferis dalam Medium Inert.....	48
Tabel 4.2	Perubahan Sifat Fisis Bagasse setelah Torefaksi pada Suhu 250°C.....	57

Tabel 4.3	Perubahan Densitas Biomassa terhadap Suhu Torefaksi Berbagai Jenis dan Ukuran Kayu	58
Tabel 4.4	Asumsi-asumsi <i>Input</i> dan <i>Output</i> dalam Kasus Studi oleh Toppel.....	61
Tabel 4.5	Teknologi Reaktor Torefaksi Disuplai oleh Pengembang Berbeda.....	62
Tabel 4.6	Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Reaktor Torefaksi.....	70
Tabel 5.1	Jenis Pirolisis.....	81
Tabel 5.2	Komposisi Produk Pirolisis.....	83
Tabel 5.3	Konstanta Reaksi Pirolisis Selulosa pada Model Shafizadeh-Bradbury.....	89
Tabel 5.4	Konstanta Kinetika Reaksi untuk Model Pirolisis Satu <i>Stage</i> Satu Reaksi Global.....	92
Tabel 5.5	Model Kinetika Pirolisis Biomassa dengan Model Tiga Reaksi Paralel.....	94
Tabel 6.1	Klasifikasi Senyawa Tar	118
Tabel 6.2	Data Komposisi Tar.....	119
Tabel 6.3	Batas-batas Kontaminan Tar.....	121
Tabel 6.4	Perbandingan Produksi Tar dalam Tiga Media Gasifikasi .	126
Tabel 7.1	Reaksi Gasifikasi pada 25°C.....	131
Tabel 7.2	Konstanta Keseimbangan Gasifikasi.....	135
Tabel 7.3	Panas Pembakaran, Energi Bebas Gibbs, dan Panas Pembentukan pada 298 K, 1 atm dan Koefisien untuk Persamaan 7.11 dan Persamaan 7.12 pada Berbagai Suhu	137
Tabel 7.4	Konstanta Reaksi Gasifikasi CO ₂ dengan Model Kinetika Langmuir-Hinshelwood.....	139
Tabel 7.5	Nilai Energi Aktivasi, <i>Preexponential Factor</i> , dan Orde Reaksi dari Reaksi Boudouard pada Berbagai <i>Char</i>	139
Tabel 7.6	Nilai Energi Aktivasi, <i>Preexponential Factor</i> , dan Orde Reaksi dari <i>Water Shift Reaction</i> pada berbagai Biomassa	140
Tabel 7.7	Komparasi Berbagai Macam Teknologi Gasifikasi Komersial	143
Tabel 7.8	<i>Heating Value</i> dari Produk Gas dengan Penggunaan Berbagai Macam Medium Gasifikasi.....	154

Tabel 7.9	Kelebihan dan Kekurangan dari Berbagai Tipe Gasifier....	158
Tabel 7.10	Contoh Performa dari Berbagai Macam Gasifier Komersial	158
Tabel 7.11	Nilai <i>Hearth Load</i> Maksimum pada <i>Throat Area</i> untuk <i>Downdraft Gasifier</i>	161
Tabel 7.12	Karakteristik Dimensi dari Beberapa <i>Entrained Flow Reactor</i>	165
Tabel 8.1	Spesifikasi Produk Gas Sintesis untuk Berbagai Aplikasi .	173
Tabel 8.2	Komposisi Bio-oil	174
Tabel 8.3	Sifat Fisik dan Kimia dari Beberapa Bahan Bakar Cair.....	175
Tabel 8.4	Suhu dan Tekanan Kritis Beberapa Jenis Alkohol	187
Tabel 9.1	Hasil Analisis Mutakhir (<i>Ultimate Analysis</i>) Basis Kering dari Berbagai Jenis Biomassa dan Bahan Bakar Fosil	190
Tabel 9.2	Kandungan Air Tipikal pada Beberapa Jenis Biomassa.....	194
Tabel 9.3	Nilai HHV Beberapa Jenis Biomassa.....	199
Tabel 10.1	Hasil Inventori Produksi Etanol	213
Tabel 10.2	Nilai NEV Produksi Biofuel dari Beberapa Jenis Tanaman	215
Tabel 10.3	Nilai FER Produksi Biofuel dari Beberapa Jenis Tanaman	216
Tabel 10.4	Pengurangan Emisi GHG dengan Penanaman	221
Tabel 11.1	Potensi Teknis Biomassa dari Residu Efektif Biomassa Hasil Pertanian dan Perkebunan	226
Tabel 11.2	Produksi Gula di Indonesia pada Tahun 2001–2009.....	229
Tabel 11.3	Potensi Beberapa Tanaman Sebagai Bahan Baku Etanol...	230
Tabel 11.4	Produksi Sampah dari Beberapa Kota Utama di Indonesia	231
Tabel 11.5	Berbagai Teknologi Reaktor Torefaksi.....	237
Tabel 11.6	Beberapa <i>Plant</i> Torefaksi di Eropa.....	237
Tabel 11.7	Daftar <i>Plant</i> Pirolisis beserta Kapasitas dan Teknologi Reaktor	240
Tabel 11.8	Biaya Investasi Awal Unit Gasifikasi dari Beberapa Unit Komersial	242
Tabel 11.9	Indeks Kapasitas Beberapa Alat Proses	250
Tabel 11.10	Perbandingan Biaya Investasi Spesifik (basis tahun 1994) dan Efisiensi Sistem Generasi Energi Listrik Berbasis Gasifikasi Biomassa	253

Tabel 11.11	Perbandingan Komposisi Produk Gas Tipikal dari Beberapa Jenis Gasifier	253
Tabel 13.1	Ketentuan UUE yang Mendukung Upaya Percepatan Penyediaan dan Pemanfaatan Biomassa	273
Tabel 13.2	Ketentuan PP KEN yang Mendukung Upaya Percepatan Penyediaan dan Pemanfaatan Biomassa	276
Tabel 13.3	Baku Mutu Emisi Biomassa Berupa Serabut dan/atau Cangkang.....	284
Tabel 13.4	Baku Mutu Emisi Biomassa Berupa Ampas dan/atau Daun Tebu Kering.....	284
Tabel 13.5	Baku Mutu Emisi Biomassa Selain Serabut/Cangkang/Ampas/Daun Tebu Kering.....	285

ugmpress.ugm.ac.id



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Konversi Biomassa.....	15
Gambar 2.2	Jalur Fermentasi Aseton-Butanol	18
Gambar 2.3	Mekanisme <i>Anaerobic Digestion</i>	19
Gambar 3.1	Tahapan-Tahapan dalam <i>Supply Chain Biomassa</i>	28
Gambar 3.2	Mekanisme dalam <i>Supply Chain Biomassa</i>	32
Gambar 3.3	Beberapa Model dalam <i>Supply Chain Biomassa</i>	33
Gambar 3.4	Produksi Lumpur Limbah sebagai Sumber Energi Biomassa	40
Gambar 4.1.	(a) Biji Kopi Sebelum <i>Roasting</i> ; (b) Biji Kopi Setelah <i>Roasting</i> pada <i>Brazilian Coffee</i>	46
Gambar 4.2	Skema Proses Gasifikasi pada Kayu Tertorefaksi dalam <i>Circulating Fluidized Bed Gasifier</i>	46
Gambar 4.3	Suhu Ideal dan Pengurangan Massa pada Biomassa Tertorefaksi beserta Kebutuhan Panas setiap Tahapan Proses	54
Gambar 4.4	<i>Moving Bed Reactor</i>	63
Gambar 4.5	<i>Fluidized Bed Reactor</i>	65
Gambar 4.6	Reaktor <i>Rotary Drum</i>	66
Gambar 4.7	<i>Screw/Stationary Reactor</i>	67
Gambar 4.8	<i>Microwave Reactor</i>	68
Gambar 4.9	Tahapan Proses Fasilitas Torefaksi.....	73
Gambar 4.10	Skema Desain Proses Torefaksi Terintegrasi	74
Gambar 5.1	Model Kinetika Pirolisis Broido–Shafizadeh Termodifikasi untuk Pirolisis Selulosa	88

Gambar 5.2	Mekanisme Proses Pirolisis pada Model Reaksi dengan Perengkahan Sekunder	95
Gambar 5.3	Mekanisme Proses Pirolisis pada Model Shafizadeh-Bradbury.....	96
Gambar 5.4	Mekanisme Pirolisis Model <i>Chemical Percolation Devolatilization</i>	98
Gambar 5.5	<i>Fixed Bed Pyrolyzer</i>	100
Gambar 5.6	Reaktor <i>Bubbling Fluidized Bed</i> dengan Pembakaran Sebagian Produk Gas	102
Gambar 5.7	Reaktor <i>Circulating Fluidized Bed</i>	102
Gambar 5.8	<i>Ultrarapid Pyrolyzer</i>	103
Gambar 5.9	<i>Ablative Pyrolyzer</i>	104
Gambar 5.10	<i>Rotating-Cone Pyrolyzer</i>	105
Gambar 5.11	<i>Vacuum Pyrolyzer</i>	106
Gambar 5.12	Susunan Reaktor Pirolisis Auger secara Umum.....	107
Gambar 6.1	Tar Cair Hasil dari Pirolisis Menggunakan <i>Microwave Heating</i>	116
Gambar 6.2	Bagian-bagian dalam Gasifier	124
Gambar 7.1	Proses Gasifikasi	130
Gambar 7.2	Kinetika Konversi Char terhadap Waktu	133
Gambar 7.3	Berbagai Macam Teknologi Gasifikasi dan Pengembang	144
Gambar 7.4	Jangkauan Panas dari Berbagai Macam Reaktor Gasifikasi.....	145
Gambar 7.5	Zona pada <i>Updraft Moving Bed Reactor</i> dan Kondisi Suhunya.....	146
Gambar 7.6	Zona pada <i>Downdraft Moving Bed Reactor</i> dan Kondisi Suhunya.....	148
Gambar 7.7	Zona pada <i>Fluidized Bed Reactor</i> dan Kondisi Suhunya.....	149
Gambar 7.8	Zona pada <i>Entrained Flow Reactor</i> dan Kondisi Suhunya.....	151
Gambar 7.9	Diagram Sederhana Proses Gasifikasi Plasma	152
Gambar 7.10	Reaktor Gasifikasi Plasma EcoValley di Jepang	153
Gambar 7.11	Contoh Linearisasi Data Ekperimen	163

Gambar 8.1	Skema Produksi Energi dari Biomassa	169
Gambar 8.2	Proses Produksi Metanol.....	179
Gambar 8.3	Proses Produksi Etanol.....	181
Gambar 8.4	Proses Produksi Gasolin.....	183
Gambar 9.1	Plot Aliran Panas pada <i>Differential Scanning Calorimetry</i>	203
Gambar 10.1	Tahap Siklus Hidup Biomassa.....	211
Gambar 10.2	Skema Ruang Lingkup Produk Biofuel dari Biomassa	212
Gambar 10.3	Ruang Lingkup yang Ditinjau dalam Proses Produksi Etanol	212
	Gambar 10.4 Emisi CO ₂ pada Penggunaan Biomassa ...	217
Gambar 10.5	Emisi CO ₂ pada Penggunaan Bahan Bakar Fosil.....	217
Gambar 10.6	Skala Waktu Emisi CO ₂ dan Penyerapan Kembali	218
Gambar 10.7	Emisi GHG dari Berbagai Skenario	219
Gambar 11.1	Perbandingan Harga Solar dan Biodiesel.....	224
Gambar 11.2	Perbandingan Produksi Minyak Sawit Dunia Tahun 1995–2015.....	228
Gambar 11.3	Peta Persebaran Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia	228
Gambar 11.4	<i>Flowsheet Pilot Plant</i> Torefaksi Kayu oleh Andritz dan ECN di Denmark.....	239
Gambar 11.5	Skema Proses Pirolisis yang Digunakan DynaMotive...	241
Gambar 11.6	Harga <i>Plant</i> Total Fasilitas Gasifikasi terhadap Kecepatan Pemasukan Umpan dengan Basis <i>Clay Ash Free</i>	242
Gambar 11.7	Skema Teknologi <i>Etrained Flow Gasifier</i>	244
Gambar 11.8	Skema Dual <i>Fluidized Bed Gasifier</i>	247
Gambar 13.1	Konsumsi Energi Final Tahun 2014.....	268
Gambar 13.2	Statistik Bauran Energi Tahun 2015.....	268
Gambar 13.3	Target Bauran Energi Indonesia hingga Tahun 2050	269
Gambar 13.4	Diagram Rasio Ketergantungan Impor BBM Indonesia	270